

超電導バルクのパルス着磁特性と臨界電流密度分布の相関

22209027 藤代研究室 古田大樹

1. 序論

超電導バルクは着磁(磁化)させることで従来の永久磁石と比べ遥かに高い磁場を発生するため現在盛んに研究されている。着磁方法は大きく磁場中冷却着磁法(FCM)とパルス着磁法(PFM)に分けられる。一般的にFCMにおいてバルク超電導体は低温にするほどピンニング力 F_p (または臨界電流密度 J_c)が向上するため捕捉磁場は向上する。しかし、PFMの場合、比熱の減少やピンニング損失による発熱が局所的に増大するため捕捉磁場は必ずしも向上しない。これまでの研究室における一連の研究で、PFMによる捕捉磁場分布には不均一が大きく、この不均一分布は超伝導バルクの J_c の不均一性が影響するためであると考えられてきたが検討した報告例は少ない。そこで本研究では、捕捉磁場分布と J_c 分布との関係を検討した。厚さ方向のピン止めが捕捉磁場分布に影響するため、超電導バルクを厚さ方向にスライスし、厚さ2 mmの薄板バルク超電導体のパルス着磁特性を調べた。さらに、薄板バルク超電導体を小片に切断して磁化測定を行い、臨界電流密度 J_c を算出した。直接測定した J_c 分布と捕捉磁場分布との関係を明らかにする。

2. 実験方法

本研究ではGd系超電導バルク($\phi 45$ mm \times 18 mm)を薄くスライスした薄板バルク超電導体($\phi 45$ mm \times 2 mm)を使用した。バルクは $T_s=40\sim 60$ Kに真空容器中で伝導冷却され、ソレノイド型パルスコイルを用いて、印加磁場 $B_{ex}=0.9\sim 1.6$ Tの範囲で単一パルス着磁を行った。パルス着磁後の捕捉磁場分布はバルク表面から2.0 mm上方にホールセンサを走査して測定した。また、この薄板バルク超電導体をFig. 1(a)に示すようにバルクのA, B, C-lineに沿って $1\times 1\times 2$ mm³の小片に切断し、SQUIDで77 Kと50 Kにおいて0~5 Tの範囲で磁化測定を行った。測定結果から、拡張型ビーンモデルを利用して臨界電流密度を算出した。

3. 結果と考察

Fig. 1に $T_s=40$ Kにおいて $B_{ex}=1.3$ T及び $B_{ex}=1.6$ Tのパルス磁場を印加した時の捕捉磁場分布((a),(c))とその断面図((b),(d))を示す。 $B_{ex}=1.3$ Tのとき、捕捉磁場は周辺部のみに捕捉され、中心部には捕捉されなかった。一方、 $B_{ex}=1.6$ Tのときバルク中心への磁束侵入を確認した。また、A, B, C-lineで異なる捕捉磁場の形状であることがわかる。これは、不均一なピン止め力による磁束の侵入と捕捉が原因であると考えられる。

Fig. 2に $T_s=77$ Kにおける臨界電流密度の印加磁場依存性を示す。低磁場1~2 T付近で J_c の明瞭な第2ピークが見られた。ピーク効果は非置換相中に微細分散

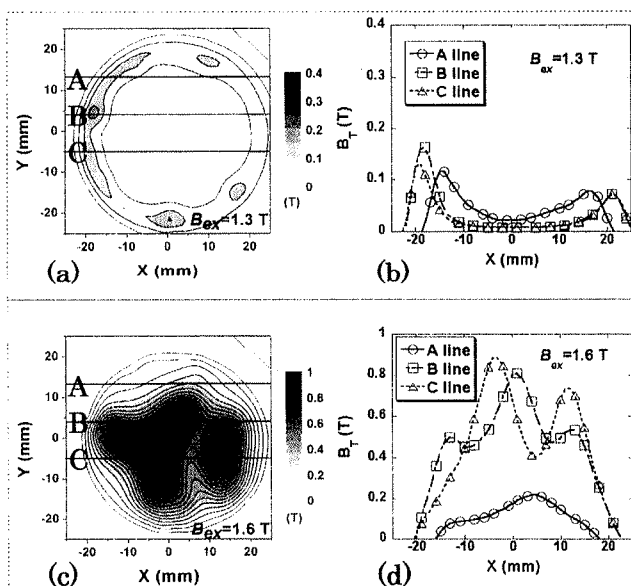


Fig. 1 $T_s=40$ Kにおける捕捉磁場分布((a),(c))と断面図((b),(d))
(a),(b) $B_{ex}=1.3$ T (c),(d) $B_{ex}=1.6$ T

した置換相(低 T_c 相)が磁場の増加に伴い常電導に転移して、結果的にピンニングセンターとして働くために起こると考えられる。第2ピークは Seed 周辺で起こっており、これは磁場によって誘起されるピンニングセンターが Seed 周辺で特に多いということを示している。

Fig. 3 に A-line, $T_s=50$ K における臨界電流密度の場所依存性を印加磁場ごとに比較した結果を示す。 $T_s=50$ K において低磁場 1 T から高磁場 4 T になるに従い J_c は増大した。この J_c の増加は高磁場で有効なピン止めサイトがあるということを示している。算出した結果から J_c は矢印で示すように GSB に向かって増大していると考えられる。また、Fig. 1(d) の捕捉磁場断面図の A-line と比較すると $x=5$ mm 付近で高い捕捉磁場を示しているのに対し、 J_c 分布においては $x=0 \sim 10$ mm 付近で比較的小さい J_c を示している。この結果から局所的に J_c の低い領域から磁束が侵入していることが推測できる。

Fig. 4 に $T_s=50$ K において印加磁場 3 T のときの磁化測定から算出した臨界電流密度 J_c (50 K, 3 T) の分布を示す。C-line は丁度 GSB 上の line であり $x=-8$ mm 付近で J_c 分布が大きく増大しているが、これは種結晶の位置に対応している。また、A, B, C-line の順に J_c が増大しているが、これはバルク作製時のプッシング効果により Seed からバルクの edge へピン止めとなる 211 相が過剰に押し出され、その結果、超電導特性が低下したためだと考えられる。これらの結果を Fig. 1(b),(d) の捕捉磁場断面図と比較すると、 J_c 分布は必ずしもパルス着磁における捕捉磁場分布と相関しない。パルス着磁では、外周部の局所的な J_c の小さな領域から磁束が侵入し、その後の磁束の運動により、捕捉磁場分布が決定されると考えられる。

4. 結論

臨界電流密度を測定した結果 J_c は C>B>A-line の順に大きかった。これはバルク作製時の結晶成長の違いによるためである。プッシング効果により Seed からバルクの edge へピン止めが過剰に押し出されるため、超電導特性が低下すると考えられる。相対的に Seed 周辺や結晶成長が重なる GSB 上は J_c が大きくなり、GSB は J_c が小さくなる。また、 J_c 分布は必ずしもパルス着磁における捕捉磁場分布と相関しなかった。 J_c 分布からはある程度磁束の侵入を予測できるが最終的な捕捉磁場は予測できない。外周部の局所的な J_c の小さな領域から磁束が侵入し、その後の磁束の運動により捕捉磁場分布が決定されると考えられる。

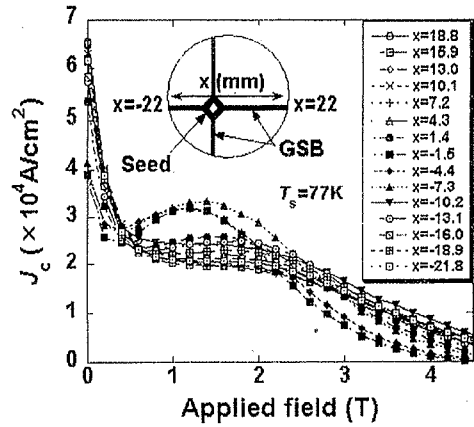


Fig. 2 $T_s=77$ K, C-line における臨界電流密度の印加磁場依存性

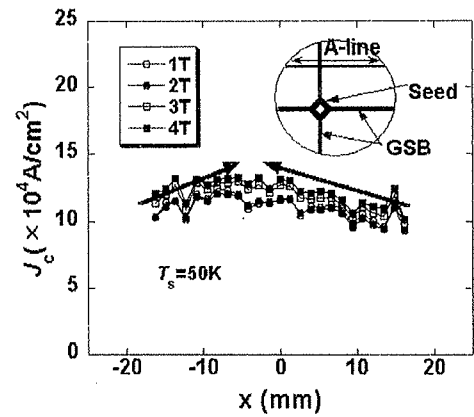


Fig. 3 $T_s=50$ K, A-line の異なる印加磁場における臨界電流密度の場所依存性

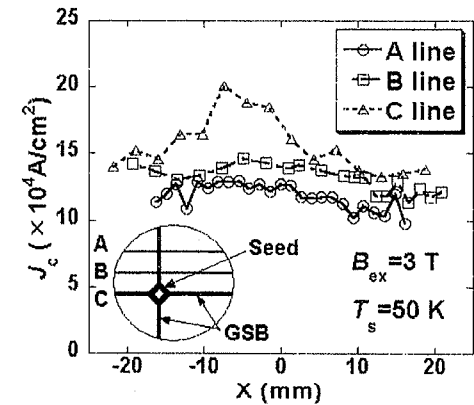


Fig. 4 $T_s=50$ K, $B_{ex}=3$ T のときの A, B, C-line における臨界電流密度分布